

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Chemická

Chemie a technologie ochrany životního prostředí

Ing. Zuzana Pavlitová Letková

Ekotoxikologické hodnocení vybraných průmyslových odpadních materiálů a anorganických kompozitů s jejich obsahem.

Ecotoxicological evaluation of industrial waste materials and inorganic composites containing waste materials

Chemie životního prostředí

Zkrácená verze PhD Thesis

prof. RNDr. Milada Vávrová, CSc

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Ekotoxikologické testy, kontaktní biotesty, odpady, kompozity s obsahem odpadu

Vysoké učení technické, fakulta chemická

## OBSAH

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>5</b>
<b>2. CÍL PRÁCE .....</b>	<b>6</b>
<b>3. EKOLOGICKÁ VHODNOST .....</b>	<b>6</b>
3.1 Ekotoxikologické testy .....	7
3.1.1 Test inhibice růstu sladkovodních zelených řas.....	7
3.1.2 Test inhibice pohyblivosti ( <i>Daphnia magna</i> ) Straus.....	8
3.1.3 Test akutní letální toxicity látek pro ryby.....	8
3.1.4 Test inhibice růstu kořene hořčice ( <i>Sinapis alba</i> ) .....	8
3.1.5 Test inhibice růstu kořene salátu ( <i>Lactuca sativa</i> ).....	8
3.2 Metodika testování .....	9
3.3 Vzorky .....	10
3.4 Příprava výluhu.....	11
3.5 Nové směry v ekotoxikologickém testování .....	12
3.5.1 Kontaktní testy.....	12
3.5.2 Mikrobiostety.....	12
<b>4. ZÁVĚR .....</b>	<b>13</b>
<b>5. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>14</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>18</b>



# 1. ÚVOD

Ve vyspělých zemích světa neustále roste produkce odpadů z průmyslových výrob a současně s ní snaha tyto odpady dále využívat. Účelné využívání odpadů zvyšuje celkovou efektivnost průmyslové výroby. Využívání odpadů má vliv na úspory prvotních nerostných zdrojů, stejně jako na úspory energie, která je vkládána do úpravy a dalšího zpracování prvotních surovin. Značné energetické úspory a jejich příznivý ekologický dopad jsou důvodem ke zvyšování podílu využití odpadů z průmyslových výrob.

Některé průmyslové odpadní materiály (dále jen POM) je možno dále zpracovávat a využít tak jejich vlastnosti, které jsou kvalitní náhradou za běžně používané přírodní materiály, jejichž těžba je do budoucna z ekonomického a hlavně ekologického hlediska neúnosná.<sup>3</sup>

Stavebnictví je výrobním odvětvím, které zpracovává značné množství přírodních surovin. S rostoucími nároky společnosti na stavební výrobu, rostou i nároky na spotřebu stavebního materiálu a surovin. Těžba surovin ovšem vede v konečném důsledku k nevratnému vyčerpání přírodních zásob.

V současné době jsou známy možnosti využití odpadních materiálů při výrobě většiny typů stavebních hmot a hledá se způsob, který by vyhovoval požadavkům na budoucí výrobky či stavební hmoty jak z hlediska technologického a ekologického, tak i z pohledu ekonomiky výroby.<sup>5</sup>

Z ekologického hlediska nesmí být stavební hmota obsahující odpady škodlivá pro životní prostředí a zdraví člověka. Dle platné legislativy<sup>9, 14, 24</sup> musí splňovat několik kritérií týkající se chemických, fyzikálních, fyzikálně-chemických a ekotoxikologických parametrů.

Ekotoxikologie je stále se rozvíjející věda, která se zaměřuje na kontaminanty životního prostředí a jejich vliv na organismy ve všech trofických úrovních. Tato věda dává dohromady principy a informace z mnoha vědních oborů, jako je chemie, biologie, ekologie a toxikologie. Stále se vyvíjí nové metody stanovení vlivu různých kontaminantů na živé organismy.<sup>40, 48</sup>

Ekotoxicita se v souladu s platnými právními předpisy České republiky hodnotí pouze pomocí testů s vodným výluhem odpadu, testovacími organismy jsou ryby, dafnie, řasy a hořčice bílá. Novým trendem v ekotoxikologii jsou kontaktní testy, které jsou vhodnější pro pevné odpady. Tyto testy se realizují přímo v pevné matici odpadu, nejčastějšími organismy pro půdní nebo-li kontaktní testy jsou žížaly, půdní bezobratlí, půdní mikroorganismy a semena rostlin.

## 2. CÍL PRÁCE

Cílem disertační práce bylo posoudit vybrané průmyslové odpadní materiály (škváry, strusky, popílký) a anorganické kompozity s definovaným množstvím odpadních materiálů z hlediska jejich akutní toxicity pro organizmy vodního prostředí (ryby *Poecilia reticulata*, perloočky *Daphnia magna*, sladkovodní řasu *Desmodesmus subspicatus*) a z hlediska inhibičních účinků na růst kořene hořčice bílé *Sinapis alba*. Ekotoxikita společně s analýzou nebezpečných prvků a látek a radionuklidovou analýzou poskytuje informace o tom, zda bude možné anorganický kompozit obsahující odpad použít jako stavební hmotu

## 3. EKOLOGICKÁ VHODNOST

Termín ekologická vhodnost zahrnuje stanovení vybraných chemických ukazatelů v sušině a ve vodném výluhu materiálu, stanovení ekotoxikity a aktivity přírodních radionuklidů ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ).

Soubor chemických analýz odpadních materiálů byl proveden s použitím techniky ICP-OES (stanovení v sušině materiálů: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn, stanovení ve výluhu materiálů: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn).

Dále byla analyzována rtuť pomocí jednoúčelového rtuťového spektrofotometru (AMA - 254) a také vybrané organické polutanty.<sup>8,9,10</sup>

Pouze na základě chemického rozboru není možné rozpoznat celkový vliv všech složek určeného materiálu na životní prostředí a lidské zdraví. Proto jsou do ekologického hodnocení zahrnuty ekotoxikologické testy, které sledují vliv materiálu na různé úrovně ekosystému v simulaci reálného prostředí.<sup>10,25</sup>

Odpady ať už skládkované nebo jinak využitě nesmějí ovlivňovat zejména povrchové a podzemní vody, půdu, faunu a flóru, ekosystémy ani zdraví člověka. Ze současné legislativy vyplývá několik testů, jejichž účelem je vyloučit možná rizika narušení životního prostředí. Tyto zkoušky se provádí u všech produkováných odpadů, ale je nutné tato kritéria sledovat i u odpadů, které se dále využijí pro zpracování do stavebních hmot.<sup>3</sup>

Samotné stavební výrobky nesmějí uvolňovat do vnějšího prostředí žádné škodliviny a odpady, změnit jeho kvalitu a ohrozit tak zdraví lidí, zvířat, rostlin i rovnováhu ekosystému. Stavební objekt nesmí uvolňovat škodliviny v takovém množství, aby bylo ohroženo zdraví a hygiena obyvatel, uživatelů nebo sousedů.<sup>11</sup>

Výsledky zkoušek však musí být hodnoceny i ve vztahu k *trvanlivost*, v praxi to znamená opakovat stanovení ekologické vhodnosti v určitých intervalech a vyhodnocovat změny daných ukazatelů v závislosti na čase.

### 3.1 EKOTOXIKOLOGICKÉ TESTY

Testy toxicity se využívají především pro hodnocení nově vyvinutých chemických látek a přípravků včetně pesticidních a při klasifikaci odpadů. Největší význam mají testy pro zjišťování potenciálního nebezpečí pro vodní ekosystém. Testovací organismy jsou vybírány tak, aby byly zastoupeny všechny trofické úrovně studovaného ekosystému (producent – konzument – destruent). Řasy, bezobratlí, ryby a bakterie.

Legislativa v České republice nespolehá při hodnocení nebezpečnosti odpadů pouze na chemické analýzy, které nedokáží určit reálné riziko pro živé organismy v prostředí, obsahuje také biotesty, které se v současné době hodnotí pouze na základě výsledků testů s vodným výluhem odpadů a pevných materiálů s použitím bioindikátorů ryb, dafnií, řasy a hořčice. Tento přístup je vzhledem k zahraniční legislativě zastaralý. Studie zabývající se testy ekototoxicity se při testování pevných materiálů nebo odpadů odvolávají na lepší využití kontaktních testů pro tyto matrice.<sup>41,44,46</sup>

Autoři práce<sup>46</sup> se zabývali v letech 2005 – 2008 ověřením kontaktních testů na reálných vzorcích a jejich srovnáním s testy akvatickými. Jejich dalším cílem bylo určit sadu biotestů, která by byla do budoucna vhodná pro testování ekotoxicity odpadů. Testování se zúčastnilo 5 nezávislých laboratoří, z výsledků vyplynula dobrá shoda a realizovatelnost kontaktních testů v praxi. Dle této studie by nově navržená baterie testů měla obsahovat, pro testování výluhů a kapalných vzorků testy na dafniích, řasách, test zhášení bioluminiscence a pro testování pevných odpadů test na chvostoskocích, roupicích a semenech salátu.

Nejčastěji se objevují práce týmu S. Vosáhllové, V. Matějů, M. Kulované, V. Kočího, J. Hofmana<sup>41,42,46</sup>, kteří se věnují srovnávání ekotoxikologických testů výluhových a kontaktních. Z jejich prací vyplývá jednoznačné stanovisko, které se přiklání k legislativní změně současných testů hodnotících ekotoxicitu odpadů. Zavedení nové baterie testů ekotoxicity povede ke zlepšení vypovídací schopnosti testů a v neposlední řadě bude následovat evropský trend v problematice hodnocení pevných materiálů, kde dochází k posunu od hodnocení odpadů pouze chemicky k biologickému hodnocení a k použití kontaktních testů.

#### 3.1.1 Test inhibice růstu sladkovodních zelených řas

##### *Podstata testu*

Jednodruhové řasové kmeny se po několik generací kultivují při teplotě  $23 \pm 2$  °C a kontinuálním osvětlení 6000 - 10000 lux v definovaném živném roztoku (tento roztok je zde standardně připravenou ředící vodou). Zkušební nádoby s testovanou látkou se inkubují po dobu  $72 \pm 2$  hodin. V době inkubace se v nich jedenkrát za 24 hodin měří hustota buněk. Účinek testované látky se na řasové kultuře projeví buď jako inhibice nebo stimulace.<sup>15</sup>

### 3.1.2 Test inhibice pohyblivosti (*Daphnia magna*) Straus

#### *Podstata testu*

Dafnie se vystaví po dobu 48 hodin, při teplotě  $20 \pm 2$  °C a ve fotoperiodě 16 hodin světla a 8 hodin tmy testovanému roztoku. V intervalu 24 hodin se zaznamenává stav perlooček, tedy uhynulí a imobilizovaní jedinci ve všech vzorcích, teplota, pH a koncentrace rozpuštěného kyslíku.<sup>16</sup>

### 3.1.3 Test akutní letální toxicity látek pro ryby

#### *Podstata testu*

Ryby se vystaví po dobu 96 hodin testovanému vzorku, při teplotě  $23 \pm 1$  °C a ve fotoperiodě 16 hodin světla a 8 hodin tmy testovanému roztoku. V průběhu testu se kontroluje stav a chování ryb a odlovují se uhynulí jedinci. V časovém úseku 24, 48 a 96 hodin se zaznamenají celkové počty uhynulých ryb v jednotlivých koncentracích a v kontrolním akváriu.<sup>18</sup>

### 3.1.4 Test inhibice růstu kořene hořčice (*Sinapis alba*)

#### *Podstata testu*

Semena hořčice bílé se vystaví na dobu 72 hodin testované látce, při teplotě  $20 \pm 2$  °C a kultivaci ve tmě. Po 72 hodinách působení se v testovaném vzorku a kontrole stanoví počet vyklíčených semen a změří se délka kořenů. Z naměřených hodnot se pro každou koncentraci a kontrolu vypočítá průměrná délka kořene. Pokud testovaná látka působí na růst kořene stimulačně znamená to, že průměrná délka kořene v testované látce je větší než v kontrole.<sup>19</sup>

### 3.1.5 Test inhibice růstu kořene salátu (*Lactuca sativa*)

#### *Podstata testu*

Semena salátu se vystaví na dobu 120 hodin působení směsi zkoušeného vzorku a umělé půdy, při teplotě  $24 \pm 2$  °C a kultivaci ve tmě. V kontrole jsou semena salátu umístěna do umělé půdy bez přítomnosti vzorku. Po 120 hodinách je změřena délka kořenů salátu v kontrole a ve vzorku. Z naměřených hodnot se pro každou koncentraci a kontrolu vypočítá průměrná délka kořene.<sup>50</sup>



### 3.2 METODIKA TESTOVÁNÍ

Při testování odpadů jsme vycházeli z řady dostupných vyhlášek a zákonů.<sup>14,19</sup> Pro testování materiálů obsahujících odpad (kompozitů) byl využit metodický pokyn SZÚ.<sup>20</sup> Postup testování uvedený v tomto dokumentu je speciálně modifikován pro hodnocení zdravotní nezávadnosti stavebních materiálů nebo výrobků, které mohou uvolňovat škodlivé a nežádoucí látky do kontaktních médií (voda a půda).<sup>20</sup>

Testy ekotoxicity byly provedeny klasicky dle metodik popsanych v normě.<sup>14-19</sup> Testy byly provedeny bez stanovení EC, IC, LC50 na neředěném vodném výluhu materiálu. Ten byl před testováním obohacen zásobními roztoky solí odpovídající požadavkům norem.<sup>15,16,18,19</sup>

#### Testování POM

Pokud je POM v sypkém stavu je ve vzorku nejprve stanovena sušina. Dle obsahu sušiny je vypočítáno množství destilované vody, které je potřebné pro vyluhování odpadu. Vyluhování je realizováno v poměru POM, destilovaná voda 1:10 pomocí třepačky „hlava-pata“ rychlostí 5-10 otáček za minutu po dobu 24 hodin. Poté je vzorek dle normy přefiltrován.

Vodný výluh je výluh, který byl připraven ze vzorku odpadu podle stanoveného postupu vyluhováním odpadu ve vodě. Postup přípravy vodného výluhu je podrobně upraven přílohou č. 4 k vyhlášce č. 383/2001 Sb. Hodnocení vyluhovatelnosti odpadů.<sup>21</sup>

V případě samotných POM jsou testy prováděny na výluhu s upraveným i neupraveným pH, aby se vyloučila toxicita odpadu způsobená pouze extrémně vysokým či nízkým pH.

#### Testování anorganických kompozitů s definovaným obsahem POM

Vodný výluh materiálu s obsahem POM, tedy anorganického kompozitu, který obsahuje odpadní materiál je připraven postupem, který vychází z metodiky popsané v Metodickém doporučení Státního zdravotního ústavu (SZÚ).<sup>20</sup>

Vzorek v pevném stavu musí být definován geometricky jako váleček, kvádr (trámeček) nebo krychle o známé velikosti všech stran. Dále je vypočítán povrch tělesa a od této hodnoty je odvozena příprava vodného výluhu. Těleso je vyluhováno destilovanou vodou v poměru 1: 5 při definované teplotě, po dobu 24 hodin. Následuje opět normované přefiltrování výluhu.<sup>20</sup>

U výluhu je vždy upravováno pH, dle metodiky SZÚ, která říká, že v případě odpadů obsahující anorganická pojiva (vápno, hydraulické vápno, cement apod.) může být pH výluhu upraveno na hodnotu ležící v intervalu  $7,8 \pm 0,2$ .<sup>20</sup>

## Požadavky na výsledky ekotoxikologických testů

Při testování odpadů vycházíme z limitů danými Vyhláškou č. 294/2005. Zatímco vyhláška se týká striktně odpadů, metodické doporučení SZÚ bere v úvahu i materiály, které jsou z odpadů vyrobené. Pro anorganické kompozity s obsahem odpadu vycházíme z tohoto doporučení, neboť stávající legislativa neposkytuje limity, které by byly použitelné pro materiály obsahující odpad.

Tabulka č.1 – (dle Vyhlášky č.294/2005 Sb. Tab.10.2)

Testovaný organismus	Doba působení	I.	II.
<i>Poecilia reticulata</i> , nebo <i>Brachydanio rerio</i>	96	Ryby nesmí vykazovat v ověřovacím testu výrazné změny chování ve srovnání s kontrolními vzorky a nesmí uhynout ani jedna ryba.	Ryby nesmí vykazovat v ověřovacím testu výrazné změny chování ve srovnání s kontrolními vzorky a nesmí uhynout ani jedna ryba.
<i>Daphnia magna</i> Straus	48	Procento imobilizace perlooček nesmí v ověřovacím testu přesáhnout 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky.	Procento imobilizace perlooček nesmí v ověřovacím testu přesáhnout 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky.
<i>Raphidocelis subcapitata</i> nebo <i>Scenedesmus subspicatus</i>	72	Neprokáže se v ověřovacím testu inhibice růstu řasy větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky.	Neprokáže se v ověřovacím testu inhibice nebo stimulace růstu řasy větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky.
Semena <i>Sinapis Alba</i>	72	Neprokáže se v ověřovacím testu inhibice růstu kořene semene větší než 30% ve srovnání s kontrolními vzorky.	Neprokáže se v ověřovacím testu inhibice nebo stimulace růstu kořene semene větší než 30 % ve srovnání s kontrolními vzorky.

Sloupec I. :

Odpady, které mohou být využity při uzavírání skládky k vytváření ochranné vrstvy kryjící těsnící vrstvu skládky a svrchní rekultivační vrstvy skládky.

Sloupec II. :

Odpady mohou být využity k rekultivaci vytěžených povrchových důlních děl (povrchové doly, lomy, pískovny).

### 3.3 VZORKY

Odběr a úprava vzorků se řídí zásadami uvedenými v metodickém pokynu ke vzorkování odpadů<sup>38</sup> a v metodickém pokynu k hodnocení vyluhovatelnosti odpadů.<sup>30</sup> Z důvodů větší časové náročnosti ekotoxikologických testů a potřeby uchování vzorků pro případné ověření výsledků stanovení ekotoxicity se prodlužuje

dobu jejich skladování na dobu nezbytně nutnou pro možné opakování testů. Vzorčky se uchovávají v těsně uzavřených nádobách, v temnu, při teplotě do 4 °C.<sup>19</sup>

### ***Vzorčky POM***

Vzorčky odpadních materiálů byly vybrány z různých průmyslových výroby (elektrárny, teplárny, atd.) na různých místech v České Republice. Vzorčky průmyslových odpadních materiálů (POM) byly odebrány osobou s osvědčením pro odběr odpadů a byly dopraveny do laboratoře v pevně uzavíratelných sáčcích s popisem materiálu, lokality odběru a váhou. Odpadní materiál byl označen číslem. Byly to vzorčky popílků z klasického vysokoteplotního způsobu spalování, fluidní, filtrové a ložové popílků, popelovina, škváry, strusky, energosádrovce.

### ***Vzorčky kompozitů***

Vzorčky kompozitů byly vyrobeny v technologické laboratoři Výzkumného ústavu stavebních hmot, a.s. Vzorčky kompozitů byly namíchané v poměru odpad (75 % hm.) a cement (25 % hm.) z vybraných odpadních materiálů (z klasických, ložových, filtrových popílků a popeloviny). Byla vytvořena zkušební tělesa, která byla uložena ve vlhkém a venkovním uložení. Ostatní materiály nebyly z ekologického nebo technologického hlediska vhodné k tvorbě testovacích trámeček.

Byla vytvořena zkušební tělesa o rozměrech 40 x 40 x 160 mm, která byla uložena 28 dní ve vlhkém prostředí a testována. V návaznosti na to byla vytvořena další tělesa o stejném poměru odpad: cement (75:25) o rozměrech 100 x 100 x 100 mm, která byla testována až po ročním vlhkém a venkovním uložení. Následovalo testování po dvouletém a tříletém uložení ve vlhku a v přirozeném venkovním prostředí.

## ***3.4 PŘÍPRAVA VÝLUHU***

Vodný výluh byl připraven převedením pevného vzorku (odpadu) do vodného roztoku za předem stanovených podmínek. Postup přípravy vodného výluhu je podrobně upraven přílohou č. 4 k Vyhlášce č. 383/2001 Sb. Hodnocení vyluhovatelnosti odpadů.<sup>30</sup>

Vodné výluhy stavebních materiálů a výrobků se zabudovaným odpadem umožňují stanovit v těchto materiálech a výrobcích takové látky nebo jejich formy, kterou jsou za daných podmínek rozpustné ve vodě.<sup>20</sup>

### 3.5 NOVÉ SMĚRY V EKOTOXIKOLOGICKÉM TESTOVÁNÍ

Ekotoxikologické testování se momentálně v České republice hodnotí výhradně pomocí výsledků s vodnými výluhy odpadů, tak jak vyplývá ze stávající legislativy.<sup>9, 19</sup> Z navrhované baterie testů by měly být vyloučeny testy s rybami a test s hořčicí. Tyto dva testy bývají často kritizovány. Jak uvádějí autoři práce u testů s rybami mají ve většině laboratoří provozní, ekonomické a personální problémy, test na semenech hořčice vykazuje nízkou citlivost a rozdílné výsledky při použití odlišných šarží semínek.<sup>46</sup>

Naopak by měly zůstat testy s dafniemi a testy s řasou, přibude test zhášení bioluminiscence bakterií pro vzorky výluhů a kalů. Pro pevné odpady budou doporučeny testy na chvostoskocích, roupicích a semenech suchozemských rostlin.<sup>42, 46</sup>

#### 3.5.1 Kontaktní testy

Kontaktní testy se realizují přímo v pevném vzorku, nejčastějšími bioindikátory pro kontaktní testy jsou žížaly, roupice, půdní mikroorganismy a semena rostlin.<sup>44</sup>

Expozice se u těchto testů toxicity pohybuje v řádu 4-6 týdnů, naproti tomu testy akvatické jsou testy krátkodobé, maximální doba působení v našem případě byla 96 hodin (test na rybách). V akutních akvatických testech není možné zachytit toxicitu látek s pozvolným působením, nebo uvolňováním, látky které jsou nerozpustné ve vodě nebo sorbované na pevné části (PCB, PAU, atd) tedy látky, které se v odpadech běžně vyskytují. Kontaktní testy jsou vhodnější k detekci těchto toxických látek i látek působících při nízkých koncentracích (DDT, benzo(a)pyren, apod.)

#### 3.5.2 Mikrobiotesty

Dalším druhem testů jsou mikrobiotesty. Zvýšená potřeba testovat stále nové chemické látky a více vzorků životního prostředí vedla k následujícím trendům ve vývoji biotestů:

- Miniaturizaci
- Zkrácení doby inkubace
- Zlevnění biotestů
- Zapojení biotestů reprezentující různé trofické úrovně v ekosystému
- Využití nových vědeckých poznatků (např. řízení produkce klidových stádií, uchování řasových kultur)

Testovací organismy využívané v mikrobiotestech mohou představovat bakterie, prvoci, řasy, bezobratlí, rybí tkáňové kultury aj. Tyto organismy se dlouhodobě uchovávají v klidových stádiích (bezobratlí), lyofilizovaném stavu

(bakterie) nebo imobilizované formě (řasy) a je možné je oživit před vlastním testováním. Mikrobiotest je miniaturizovaný biotest, proto se jako testovací nádoby používají zkumavky, kyvety, mikrotitrační destičky atd. Doba testu je také zkrácená a to na několik hodin až minut namísto dnů.<sup>43</sup>

## 4. ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na testování ekotoxicity u různých druhů odpadů z průmyslových výroby a také kompozitů s přesně definovaným obsahem těchto odpadů.

Vzorky byly testovány jak klasickými testy ekotoxicity obsahujícími testy na rybách, řasách, hořčici a dafniích, tak i testem kontaktním na semenech salátu. Došlo ke srovnání testu klasického se semeny hořčice bílé a testu kontaktního se semeny salátu na vybraných odpadech a kompozitech.

Ostatní kontaktní testy popsané v této práci nebyly realizovány na reálných vzorcích z důvodu nedostatku původních vzorků odpadů a kompozitů, byly v laboratoři zavedeny a vyzkoušeny pouze na standardní látce.

Nejprve byla potvrzena toxicita použitých průmyslových odpadních materiálů, která byla rozdílná pro různé druhy těchto odpadů, závislá hlavně na způsobu vzniku odpadů v jednotlivých průmyslových odvětvích.

K výrobě kompozitů byly vybrány odpady na základě výsledků zkoušek chemických, fyzikálních, ekotoxikologických a také technologických. U kompozitů došlo ke snížení až vymizení toxicity v závislosti na době a místě uložení vzorků.

Výsledky provedného srovnávacího testu ukazují, že u klasického testu pro vzorky 1, 2, 4 a 5 nebyla prokázána toxicita, u kontaktního testu pro vzorky 2 a 4 toxicita prokázána byla. Zbývající vzorky 7, 8, 9 a 10 vykazovaly více než 30% toxicitu pro hořčici v klasickém testu, v kontaktním testu až 100% toxicitu pro semena salátu.

Vůči vodnímu prostředí se tedy jeví polovina testovaných odpadů jako netoxická, ovšem pro půdní prostředí většina těchto vzorků vykazuje vysokou nebo dokonce stoprocentní toxicitu.

Vybrané vzorky kompozitů byly podrobeny klasickému testu s hořčicí, všechny vzorky 1, 2, 4 a 5 byly negativní vůči vodnímu prostředí. Zatímco kontaktním testem byla prokázána u všech testovaných kompozitů toxicita vůči půdnímu prostředí.

Test na hořčici se jeví jako nedostačující, při testování odpadů i kompozitů přinášel velmi rozdílné výsledky, které neměli velkou vypovídací hodnotu. Pro další testování kompozitů by měl být použit kontaktní test se semeny salátu, které se pěstují ve standardizované půdě, do které je přidán testovaný vzorek. Tento test by

měl být vhodnější pro výzkum hodnotící kompozity obsahujících odpady a jejich vliv na životní prostředí, pokud je očekáváno pozdějšího použití daného kompozitu v reálném půdním prostředí.

## 5. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Ledererová, J., Průdková, Ž., Suchardová, M.: 2007. Postup certifikace výrobků na bázi odpadních materiálů, In *Recycling, Brno 2007*, s. 78-86. ISBN 978-80-214-3381-6.
2. Ledererová, J., Tichá, J., Ayoubi, K., Chromková, I., Průdková, Ž.: Ekologická kritéria pro použití anorganických průmyslových odpadních materiálů ve stavebnictví. In *Recycling, Brno 2007*, s. 42-45. ISBN 978-80-214-3381-6.
3. Ledererová, J., Chromková, I., Vyvážil, M.: Možnosti zpracování odpadních materiálů jako druhotných surovin ve stavebnictví a příbuzných oblastech z pohledu technologické vhodnosti. In *Recycling, Brno 2007*, s. 72-77. ISBN 978-80-214-3381-6.
4. Mikoláš, J.: *Recyklace průmyslových odpadů*, STNL Ochrana životního prostředí 1988, 04-833-87.
5. Ledererová, J., Suchardová, M., Svoboda, M., Leber, P.: Ekologické stavební hmoty a výrobky. In *Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky, Telč 2003*. s. 5-18. ISBN:80-239-1010-8.
6. Mikoláš J., Řezníček B.: Ekologické hodnocení a navrhování procesů - Recyklační a maloodpadové technologie, SNTL Ochrana životního prostředí 1992, 04-602-92
7. Sborník z III Konference VÚSH, Ekologické možnosti využívání druhotných surovin ve stavebnictví a jiných odvětvích. Brno 1998.
8. Kukletová, I., Vítámvás, M., Šabatová, V.: Ekologické vlastnosti popílků. In *Recycling, Brno 2006*. s.101-103. ISBN: 80-214-3142-3
9. Vyhláška č. 376/2001 Sb., MŽP a MZ o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů.
10. Kukletová, I., Vítámvás, M.: Sledování vlastností odpadních materiálů za účelem zapracování do stavebních hmot. In *Recycling, Brno 2004*. ISBN 80-214-3142-3.
11. Preslová, J.: Use of ekotoxicity tests in assessment of new construction materials with reference to potential release of toxic and other undesirable substances into the water and soil. In *Toxicita a biodegradabilita odpadů a látek ve vodním prostředí, VÚRH JU Vodňany 2001*, s. 22-26. ISBN: 80-85887-43-6.
12. Vyhláška č. 307/2002 Sb, o radiační ochraně.
13. Zákon č. 499/2005 o radioaktivitě.
14. Vyhláška MŽP č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášy č 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.
15. ČSN EN ISO 8692 Jakost vod. Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas.
16. ČSN ISO 6341 Jakost vod. Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). Zkouška akutní toxicity.
17. DAPHTOXKIT F<sup>TM</sup>. Crustacean Toxicity Screening Test for Freshwater. Standard operational procedure.Manufactured by: MicroBioTests Inc., Belgium.
18. ČSN ISO 7346-2 Jakost vod. Stanovení akutní letální toxicity látek pro ryby. Část 2: Obnovovací metoda.
19. Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů. Zpravodaj MŽP, 04/2007
20. Metodické doporučení SZÚ pro hodnocení škodlivých a nežádoucích látek uvolňujících se z vybraných skupin výrobků pro stavby do vody a půdy. Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica 3/2001, SZÚ Praha, 12pp., 2001.

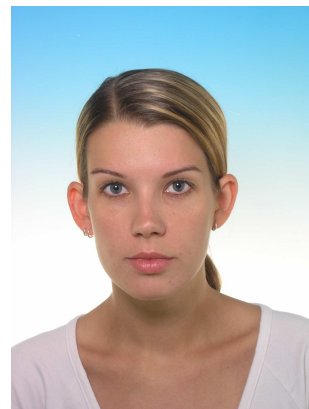
21. Vyhláška č. 383/2001 Sb. MŽP a MZ o hodnocení vyluhovatelnosti odpadů.
22. Svobodová, Z., Máchová, J., Beklová, M., Cupáková, Š., Minks, J.: *Ekotoxikologie praktická cvičení část I*. Veterinární a Farmaceutická univerzita, Brno 2000.
23. Máchová, J., Svobodová, Z., Vykusová, B.: *Ekotoxikologické hodnocení výluhů tuhých průmyslových odpadů*. Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Vodňany, 1994.
24. Zákon č.185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů
25. Kukletová, I.: Význam ekotoxicity pro hodnocení odpadů. In *Recycling, Brno 2004*.
26. Malá, J.: Vliv solidifikace popílků ze spalování uhlí na toxicitu výluhů. In *Toxicita a biodegradabilita odpadů a látek významných ve vodním prostředí, VÚRH JU Vodňany 2001*. s. 43-48. ISBN: 80-85887-43-6.
27. Javůrková, D., Malá, J.: Toxicita a vyluhovatelnost a vlastnosti materiálů používaných pro solidifikaci. In *Recycling, Brno 2006*, s.130-137. ISBN: 80-214-3142-3.
28. Preslová, J.: Hodnocení zdravotního rizika při využívání odpadů ve stavebních materiálech. In *Recycling, Brno 1999*.
29. Preslová J., Zimová, M.: Postupy a zkušenosti při posuzování zdravotní nezávadnosti netradičních stavebních materiálů. In *Recycling, Brno 2000*. s. 51-54. ISBN: 80-214-1557-6
30. Metodický pokyn odboru odpadů k hodnocení vyluhovatelnosti odpadů. Věstník MŽP, ročník XII, částka 12, prosinec 2002.
31. Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb. ze dne 17.října 2001, Katalog odpadů.
32. Zákon č.157/1998 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých dalších zákonů.
33. Tomejšová, J.: *Možnosti využívání odpadních materiálů ve výrobě stavebních hmot a jiných aplikací v ČR*. Databáze Výzkumného ústavu stavebních hmot, a. s.
34. Informační centrum stavebních hmot s využitím odpadů, druhotné suroviny. Dostupné z <<http://waste.fce.vutbr.cz/>>, 16.1.2007
35. <http://www.env.cz>, z 15.12.2006
36. <http://www.recyklace.net/cz>, z 20.11.2006
37. <http://odpady.ihned.cz/>, z 22.1. 2007
38. Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí Vzorkování odpadů. Věstník MŽP, ročník XI, částka 5, květen 2001.
39. Kočí, V. a kol.: Předpůprava vzorků pro testy toxicity, Sborník pracovní konference 3. - 4 . 2. 2003 Praha, 52-56, Ekotoxikologické biotesty 2. ISBN 80-903203-0-9
40. M.C. Newman: Ecotoxicology: The History and Present Directions, , a College of William and Mary, Gloucester Point, VA, USA, Available online 6 August 2008.
41. J. Hofman, Ph.D., R. Vácha, M. Kulovaná.: 2009. Ekotoxikologické hodnocení vytěžených sedimentů a tuhých odpadů a legislativní změny. Aprochem 2009, Odpadové fórum 2009, s.3482-3488
42. V. Matějů, S. Vosáhlová.: Stanovení ekotoxicity, Odpadové fórum 4/2005, s. 18-19.
43. [www.recetox.muni.cz/sources/prednasky/marsalek/EB\\_dalsi\\_mater/Prehled\\_mikrobiotestu.pdf](http://www.recetox.muni.cz/sources/prednasky/marsalek/EB_dalsi_mater/Prehled_mikrobiotestu.pdf) : Maršálek, B.: Mikrobiotesty – druhá generace ekotoxikologických biotestů (cit.1.4.2009)
44. Hofman, J.: RECETOX Masarykova univerzita Brno - Pracovní seminář: Připravované testy ekotoxicity odpadů, Praha, 13/6/2008, Proč půdní biotesty
45. ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – stanovení pevnosti
46. M. Kulovaná, V. Kočí, S. Vosáhlová.: 2009. Jak dál hodnocení ekotoxicity odpadů, In Odpadové fórum 2009, s. 3358-3364.
47. Peter M. Chapman: Integrating toxicology and ecology: putting the “eco” into ecotoxicology, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 44, Issue 1, January 2002, Pages 7-15
48. B.-M. Wilke, F. Riepert, Christine Koch and T. Kühn: Ecotoxicological characterization of hazardous wastes, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 70, Issue 2, June 2008, Pages 283-293

49. José I. Seco, Constantino Fernández-Pereira and José Vale: A study of the leachate toxicity of metal-containing solid wastes using *Daphnia magna*, Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 56, Issue 3, November 2003, Pages 339-350
50. ISO 11269-1 (1993): Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth.
51. ISO 16387:2004 Soil quality – Effects of pollutants on Enchytraeidae (*Enchytraeus* sp.) – Determination of effects on reproduction and survival.
52. ISO 11267: Soil quality – Inhibition of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil pollutants, 1999
53. ISO 11465 (1993): Soil quality – Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric Method
54. ČSN ISO 11465 (1998): Kvalita půdy – Stanovení hmotnostního podílu sušiny a hmotnostní vlhkosti půdy – Gravimetrická metoda
55. ISO 11268-2 (1998): Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*) - Part 2: Determination of effects on reproduction. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
56. ISO 10390 (1994): Soil quality - Determination of pH. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
57. ČSN ISO 10390 (1996): Kvalita půdy - Stanovení pH
58. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2: Effects on Biotic Systems, Test No. 201: Alga, Growth Inhibition Test, 11 July 2006, ISBN: 9789264069923, OECD Code: 979920101E1
59. L. Zálešáková.: Využití testů OECD pro stanovení ekotoxicity odpadů. Bakalářská práce, fakulta chemická, Vysoké učení technické, Brno 2008, s. 58.
60. <http://www.microbiotests.be/> (cit. 15.1.2010)
61. L. Vašulková.: Využití alternativních testů biotoxicity pro stanovení nebezpečnosti stávajících a/nebo potenciálních polutantů. Diplomová práce, fakulta chemická, Vysoké učení technické, Brno 2008.s. 67.
62. M.M.Moreira, Dos Santosand, G.Persoone.: The Use of *Daphnia magna* Neonates hatched from *Ephippia* for Toxicity Testing. In: New Microbiotests for Routine Toxicity Screening and Biomonitoring (G. Persoone, C. Janssen and W. De Coen , eds. - Kluwer Academic / Plenum Publishers) 2000, chapter 13, Pages 145-153.



## ŽIVOTOPIS

Jméno, příjmení, titul: **Zuzana Pavlitová Letková, Ing.**  
Datum a místo narození: 29. června 1981, Chrudim  
Národnost: česká  
Bydliště trvalé: Joštova 793, 667 01 Židlochovice  
Email: [zuzana.letkova@centrum.cz](mailto:zuzana.letkova@centrum.cz)



### Vzdělání:

- 2005-dosud** Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, obor chemie a technologie ochrany životního prostředí, distanční studium.  
Téma disertační práce: Ekotoxikologické hodnocení vybraných průmyslových odpadních materiálů a anorganických kompozitů s jejich obsahem.
- 2003-2005** Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, obor chemie a technologie ochrany životního prostředí, ukončeno 15. 6. 2005 státní magisterskou zkouškou (analytická chemie, organická chemie, chemie životního prostředí, technologie ochrany životního prostředí).  
Téma diplomové práce: Ekotoxikologické hodnocení kalů z čistírny odpadních vod.
- 2000-2003** Univerzita Palackého Olomouc, Fakulta přírodovědecká, obor Ekochemie, ukončeno 24. 5. 2003 Státní bakalářskou zkouškou (chemie, ekologie, chemie životního prostředí).  
Téma bakalářské práce: Příprava arylhydrazonomalondinitrilů a jejich biologická aktivita.
- 1995-1999** Střední průmyslová škola chemická Pardubice, ukončena 29. 6. 1999 maturitní zkouškou (fyzikální chemie, ekonomie a management, český jazyk, chemická technologie).

### Pracovní zkušenosti:

- 3/2011-dosud *Lunaria spol. s r.o.*  
Manažer jištění kvality
- 8/2006 – 11/2010 *Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s.*  
Vedoucí laboratoře ekotoxikologie a analytické chemie, manažerka kvality
- 10 – 12/2005 *Ekoaudit spol. s r.o., Brno*

## ABSTRAKT

Tato disertační práce shrnuje výsledky testů ekotoxicity, které byly prováděny na různých druzích průmyslového odpadního materiálu jako jsou klasické popílky, fluidní popely a popílky, škváry, strusky a také na anorganických kompozitech s obsahem tohoto odpadu, které by mohly být v budoucnu použity jako stavební hmoty.

Pro posouzení ekotoxicity byly využity testy akutní toxicity na testovacích organismech: akvarijní rybě (*Poecilia reticulata*), perloočce (*Daphnia magna*), sladkovodní řase (*Raphidocellis subcapitata*). Ekotoxicita byla hodnocena i testem inhibice růstu kořene hořčice bílé (*Sinapis alba*). (Vyhodnoceno dle Vyhlášky č. 294/2005 Sb.) Z kontaktních testů byly vybrány testy s rousicemi, chvostokoky a salátem. Bylo realizováno přímé srovnání testu klasického se semeny hořčice a kontaktního testu se semeny salátu.

Výsledkem pro testy ekotoxicity bylo určení procentuální mortality, imobilizace, stimulace nebo inhibice růstu pro testované organismy.

Bylo provedeno srovnání výsledků jednotlivých testů ekotoxicity a porovnání klasicky provedených akvatických testů a testů kontaktních realizovaných v umělé půdě.